

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE04/002816

International filing date: 22 December 2004 (22.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 103 61 569.5
Filing date: 23 December 2003 (23.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 24 February 2005 (24.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 61 569.5
Anmeldetag: 23. Dezember 2003
Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE
Bezeichnung: Optisches Abbildungssystem
IPC: G 01 M, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. Februar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, which appears to read "Reinhard", is placed above a rectangular stamp. The stamp contains the word "Reinhard" in a stylized font, with "Reinhard" written vertically along the right edge.

19. Dez. 2003 - fle/poe

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

Optisches Abbildungssystem

Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches Abbildungssystem mit einer Anordnung von optischen Komponenten zum Erzeugen einer Abbildung einer zu-
mindest abschnittsweise radialsymmetrischen Licht abstrahlenden Oberfläche eines Bauteils für eine optische Oberflächenmessung desselben, wobei die Flächennormale des radialsymmetrischen Bereichs in Messlage des Bauteils unter einem Winkel von höchstens 90° gegenüber der Bauteilachse bzw. der Symmetriearchse geneigt ist.

Stand der Technik

Ein derartiges optisches Abbildungssystem ist beispielsweise in der WO02/14858 und der WO01/27558 angegeben. Dieses bekannte Abbildungssystem ermöglicht es, Messungen auch an Oberflächenbereichen in engen Bohrungen durchzuführen, wobei bei der Abbildung Interferenzmuster erzeugt

5

werden, die mit Methoden der sogenannten Weißlichtinterferometrie ausgewertet werden.

10

Grundsätzlich sind auch andere interferometrische Messmethoden zum Beurteilen von Oberflächeneigenschaften geeignet, wie etwa die Heterodyninterferometrie. Allgemein sei zur Interferometrie auf A. Donges, R. Noll, in "Lasermesstechnik", Hüthig Verlag, 1993 und zur Heterodyninterferometrie auf H.J. Tiziani, "Optical methods for precision measurements", Optical and Quantum Electronics, Vol 21, 253-282, 1989 verwiesen. Oberflächeneigenschaften können beispielsweise Rauigkeit, geometrische Formen oder geometrische Formabweichungen sein. Als optische Messmethoden kommen auch z.B. Methoden der Bildauswertung in Frage, die andere Informationen als die Interferenzerscheinungen in der Abbildung bewerten.

15

20

Insbesondere auch die Fertigung von Präzisionsteilen erfordert zur Sicherung der Qualität der entsprechenden Bauteile geeignete Messmethoden zur Erfassung z.B. der Geometrie und der Beschaffenheit der Teile. Auch hierbei leisten die optischen Messmethoden wie die Bilderfassung und Bildauswertung sowie die Interferometrie wichtige Beiträge. Zusätzlich zu der Anforderung an die Präzision eines Messsystems bei der Erfassung der interessierenden Merkmale kommt die Anforderung an eine hohe Messgeschwindigkeit, die eine Integration des Messsystems in einen schnellen und automatisierten Produktionsprozess ermöglicht. Diese Anforderungen lassen sich für viele Präzisionsteile, die z.B. eine vorwiegend ebene Geometrie besitzen, durch bekannte Verfahren und verfügbare optische Komponenten erfüllen. Auch können bereits Messungen in engen Hohlräumen mit den vorstehend genannten Systemen nach der WO02/14858 und WO01/27558 vorgenommen werden. Für eine Klasse von Präzisionsteilen, die z.B. durch gekrümmte Außenflächen des Bauteils oder annähernd durch einen

25

30

Außenkonus charakterisiert werden können, wie z.B. Ventilnadeln, existiert
5 bisher keine zufriedenstellende Lösung, die die oben genannten Anforderungen gleichzeitig erfüllen könnte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optisches Abbildungssystem der eingangs genannten Art bereitzustellen, mit dem zumindest abschnittsweise 10 radialsymmetrische Außen-Oberflächen derart abgebildet werden, dass die Oberflächeneigenschaften schnell und mit möglichst wenig Aufwand feststellbar sind.

Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe der Erfindung wird mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Hierbei ist vorgesehen, dass die Anordnung zum Vermessen von Außen-Oberflächen ausgebildet ist und einen dem Bauteil zuordenbaren Spiegel aufweist, der im Messzustand den von dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich der Oberfläche abgestrahlten Strahlanteil erfasst und weiteren Abbildungskomponenten der Anordnung zur Aufbereitung der Abbildung zuführt.

Die auf diese Weise erreichte Abbildung des radialsymmetrischen Bereiches, beispielsweise einer abschnittsweisen oder vollständigen Außenkonusfläche oder zylindrischen oder auch konkav oder konvex bezüglich der Achsrichtung gekrümmten Außenfläche, ergibt einen großen Messbereich, der mit einer Messung abgedeckt werden kann. Dies ermöglicht eine kurze Messzeit und in vielen Fällen, wie z.B. bei der Prüfung von Ventilnadeln, den Einsatz eines solchen optischen Messsystems in der automatisierten Fertigung.

30 Die genannten Maßnahmen ermöglichen das Sammeln eines großen Anteils der Lichtstrahlen, ausgehend von einem Punkt auf der radialsymmetrischen Außen-

oberfläche trotz des ungünstigen Abstrahlungswinkels. Dies lässt eine hohe
5 Auflösung der Abbildung zu und trägt zu einer hohen Präzision des Messsystems
bei.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.
10

Die präzise Abbildung des zu vermessenden radialsymmetrischen Bereichs unter
Abdeckung eines großen Messbereichs wird dadurch begünstigt, dass der Spiegel
zumindest abschnittsweise radialsymmetrisch ausgebildet ist und im Mess-
zustand zum direkten Aufnehmen des von dem Bereich abgestrahlten Lichts aus-
15 gebildet und angeordnet ist.

Der Aufbau des Abbildungssystems bei vorteilhafter Strahlführung wird auch da-
durch begünstigt, dass der Spiegel umlaufend radialsymmetrisch ausgebildet ist
und eine zentrale Öffnung aufweist und dass ein im Strahlengang dem Spiegel
20 nachgeordnetes reflektierendes optisches Element das von dem Spiegel reflek-
tierte Licht aufnimmt und durch die zentrale Öffnung lenkt.

Ist vorgesehen, dass das reflektierende optische Element ebenfalls radial-
symmetrisch ausgebildet ist und eine zentrale Öffnung aufweist, ergibt sich eine
25 einfache Anordnungsmöglichkeit z.B. auch langgestreckter Bauteile bezüglich
des Abbildungssystems, woraus sich Vorteile beim Einsatz in einem Fertigungs-
prozess ergeben.

Um gewünschte Abbildungseigenschaften zu erzielen, sind des Weiteren die
30 Maßnahmen von Vorteil, dass dem reflektierenden optischen Element zur Auf-
bereitung der Abbildung im Strahlengang Linsenelemente nachgeordnet sind.

Genaue Oberflächenmessungen können z.B. dadurch vorgenommen werden,
dass die Anordnung so ausgebildet ist, dass sie eine interferometrisch auswertbare Abbildung erzeugt.

Ein vorteilhafter Aufbau lässt sich auch dadurch erreichen, dass die Anordnung einen flächenhaften Bildaufnehmer aufweist, auf den die Abbildung erfolgt.

Ist vorgesehen, dass die Anordnung als Objektarm eines interferometrisch arbeitenden Messsystems ausgestaltet ist, ergibt sich eine günstige Integration in ein derartiges Messsystem.

Für die Ankopplung an ein Auswertesystem können auch die Maßnahmen von Vorteil sein, dass die Anordnung in der Weise ausgebildet ist, dass sie ein Zwischenbild erzeugt.

Eine weitere Aufbauvariante besteht darin, dass dem Spiegel zur Aufnahme der von diesem reflektierten Strahlung ein transmissives optisches Element unmittelbar nachgeordnet ist.

Mit den vorstehend angegebenen Maßnahmen können die genannten, zumindest abschnittsweise radialsymmetrischen Außen-Oberflächenbereiche, wie etwa die Außenkonusflächen, vorteilhaft abgebildet werden. Derartige Außenflächen weisen, wenn sie optisch abgebildet werden, eine vorwiegende Abstrahlungsrichtung der Lichtstrahlen auf, die entlang der Flächennormalen verläuft. Diese Flächennormalen sind für die radialsymmetrischen Außen-Oberflächenbereiche, beispielsweise die Außenkonusflächen, radialsymmetrisch angeordnet und schließen, je nach Art des radialsymmetrischen Flächenbereiches, einen relativ großen Winkel von z.B. $> 45^\circ$ gemessen zur Längsachse des radialsymmetri-

schen Bereichs ein. Die beschriebene Anordnung von optischen Flächen und Komponenten ist in der Lage, die von der zu vermessenden Fläche des Bauteils ausgehenden Lichtstrahlen so umzulenken und zu sammeln, dass trotz der ungünstigen Abstrahlungsrichtung relativ zur Längsachse des radialsymmetrischen Bereichs bzw. des Bauteils eine für die Auswertung geeignete Abbildung der Fläche entsteht. Zusätzlich ist das optische System so ausgelegt, dass z.B. ein gesamter umlaufender Bereich in ein Gebiet abgebildet wird, welches mit einfachen Maßnahmen und in kurzer Zeit eine weitere Auswertung ermöglicht. Das Bild eines Umlaufs der radialsymmetrischen Fläche kann direkt von einem flächenhaft messenden Lichtdetektor, wie z.B. einer CCD-Kamera aufgefangen werden oder einem weiteren optischen System zur Verfügung gestellt werden, das z.B. auf der Grundlage der Weißlichtinterferometrie arbeitet.

Zum Auswerten der Abbildung wird diese vorteilhaft in einer zur optischen Achse der Anordnung bzw. der Symmetriearchse des radialsymmetrischen, zu vermessenden Oberflächenbereichs senkrechten Ebene erzeugt, wobei die Abbildung auch Erhebungen oder Vertiefungen erhalten kann, die bei der weiteren Auswertung z.B. durch Abtasten auf einfache Weise berücksichtigt werden können. Beispielsweise kann auf diese Weise ein Übergangsbereich einer Außenkonusfläche einer Ventilnadel in einen zylindrischen Bereich derselben vermessen werden, wobei die kreisringförmige Übergangslinie zwischen den beiden Bereichen in der Abbildung als in Richtung des Strahlenganges am höchsten (zuvor-derst) liegende Grad-Linie wiedergegeben wird.

Zeichnung

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines optischen Abbildungssystems
für einen Außenkonus eines Bauteils mit einem Strahlenverlauf und

Fig. 2 einen vergrößerten Ausschnitt des Abbildungssystems nach Fig. 1.

10 Ausführungsbeispiel

Wie aus den Fig. 1 und 2 ersichtlich, ist einem Bauteil 20 ein optisches Abbildungssystem mit einer Anordnung 1 von optischen Komponenten zugeordnet, mit dem eine umlaufende radialsymmetrische Außenkonusfläche des Bauteils 20 beispielsweise auf einen Bildaufnehmer 6 einer Verarbeitungseinrichtung 7 abgebildet wird.

Ein von der zu vermessenden Außenkonusfläche 20.1 z.B. durch Reflexion abgestrahltes Strahlenbündel 10 trifft auf eine entsprechend der Außenkonusfläche 20.1 radialsymmetrisch um dieselbe Symmetriearchse umlaufende nutzbare Fläche 2.1 eines Spiegels 2, der eine zentrale Öffnung 2.2 aufweist. Das von der nutzbaren Fläche 2.1 des Spiegels 2 reflektierte Strahlenbündel 10 wird auf ein weiteres reflektierendes optisches Element 3, vorzugsweise in Form eines weiteren Spiegels, gerichtet und von diesem durch die Öffnung 2.2 des Spiegels 2 gelenkt und über im weiteren Strahlengang angeordnete Linsenelemente 4, 5 aufbereitet, um auf dem Bildaufnehmer 6 die optische Abbildung der zu vermessenden Außenkonusfläche 20.1 zu erzeugen. Das weitere reflektierende optische Element 3 besitzt ebenfalls einen zu der gemeinsamen Symmetriearchse radialsymmetrisch umlaufenden nutzbaren Flächenbereich 3.1, der eine zentrale Öffnung 3.2 umgibt. Das Bauteil 20 kann auf einfache Weise beispielsweise während eines Fertigungsprozesses durch die zentrale Öffnung 3.2 derart in das

optische Abbildungssystem eingeführt werden, dass es die für die gewünschte
5 Abbildung erforderliche relative Lage zu dem Spiegel 2 einnimmt.

Daß zu vermessende Bauteil 20, z.B. eine Ventilnadel, wird also in dem optischen Abbildungssystem positioniert, wobei die zentralen Öffnungen 2.2 und 10 3.2 des Spiegels und des weiteren reflektierenden optischen Elementes 3 eine einfache Anordnung zulassen. Bei kürzeren Bauteilen ist auch eine Ausführungsform denkbar, bei der das weitere reflektierende optische Element in Form des weiteren Spiegels 3 keine zentrale Öffnung besitzt und das Bauteil von der Seite zwischen dem Spiegel 2 und dem weiteren reflektierenden optischen Element 3 eingeführt wird. Die genaue Form und Größe der Spiegel 2 und 3 ist dem zu vermessenden Bauteil bzw. dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich, 15 beispielsweise in Form der Außenkonusfläche 20.1 angepasst, um eine für die nachfolgende Auswertung geeignete Abbildung zu erzeugen. Wird das abgestrahlte Strahlenbündel 10 durch Reflexion erzeugt, so wird zumindest der zu vermessende Bereich des Bauteils 20 je nach gewünschter Arbeitsweise des auswertenden Verarbeitungsabschnittes des Messsystems geeignet beleuchtet. 20 Beispielsweise wird eine kurzkohärente Strahlung zur Beleuchtung verwendet, wenn die Auswertung mittels Weißlichtinterferometrie vorgenommen werden soll und Interferenzmuster zur Beurteilung der Oberflächeneigenschaften zu grunde gelegt werden sollen. Die Spiegel 2, 3 können neben den reinen Umlenkungseigenschaften auch zum Miterzeugen der gewünschten Abbildung Abbildungseigenschaften besitzen und z.B. eben, konkav oder konvex gekrümmt sein 25 und auch in ihrem Neigungswinkel zum Führen des Strahlenbündels unterschiedlich bezüglich der Symmetriearchse ausgerichtet sein.
Bei einer alternativen Ausführungsform des optischen Abbildungssystems ist es 30 auch denkbar, das weitere reflektierende optische Element 3 durch ein trans-

missives Element, wie z.B. eine Linse oder ein prismatisches Element oder dgl. zu ersetzen, so dass der Strahlengang im Vergleich zu Fig. 1 in der entgegen gesetzten Richtung verläuft und durch nachgeordnete weitere Abbildungselemente aufbereitet werden kann.

Das Abbildungssystem kann z.B. ganz oder teilweise als Objektarm eines Interferometers ausgebildet sein, dem ein Referenzarm zugeordnet ist, wie bei interferometrischen Messungen üblich. Das optische Abbildungssystem kann auch derart ausgebildet sein, dass mit ihm ein der Auswertung zugrunde zu legendes Zwischenbild erzeugt wird.

Mit dem optischen Abbildungssystem können insbesondere radialsymmetrische Flächenbereiche des Bauteils 20 für eine weitere Auswertung abgebildet werden, deren Flächennormalen schräg zur Symmetriearchse verlaufen und in einem Winkelbereich zwischen 0° und 90° zur Symmetriearchse geneigt sind. Das heißt ein Winkel der Normalen von 90° zur Symmetriearchse würde zu einem zylindrischen Oberflächenbereich des Bauteils 20 gehören, während ein Normalenwinkel von 0° bezüglich der Symmetriearchse eine Fläche senkrecht zur Symmetriearchse darstellen würde. Jedoch hat das beschriebene optische Abbildungssystem insbesondere Vorteile bei zwischen diesen Grenzflächen schräg zur Symmetriearchse verlaufenden Flächennormalen.

19. Dez. 2003 - fle/poe

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

Ansprüche

1. Optisches Abbildungssystem mit einer Anordnung (1) von optischen Komponenten zum Erzeugen einer Abbildung einer zumindest abschnittsweise radialsymmetrischen Licht abstrahlenden Oberfläche (20.1) eines Bauteils (20) für eine optische Oberflächenmessung desselben, wobei die Flächennormale des radialsymmetrischen Bereichs in Messlage des Bauteils unter einem Winkel von höchstens 90° gegenüber der Bauteilachse geneigt ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anordnung (1) zum Vermessen von Außen-Oberflächen (20.1) ausgebildet ist und einen dem Bauteil (20) zuordenbaren Spiegel (2) aufweist, der im Messzustand den von dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich der Oberfläche abgestrahlten Strahlanteil erfasst und weiteren Abbildungskomponenten der Anordnung (1) zur Aufbereitung der Abbildung zuführt.
2. Abbildungssystem nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Spiegel (2) zumindest abschnittsweise radialsymmetrisch ausgebildet ist und im Messzustand zum direkten Aufnehmen des von dem Bereich abgestrahlten Lichts ausgebildet und angeordnet ist.

3. Abbildungssystem nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Spiegel (2) umlaufend radialsymmetrisch ausgebildet ist und eine
zentrale Öffnung (2.2) aufweist und
dass ein im Strahlengang dem Spiegel (2) nachgeordnetes reflektierendes
optisches Element (3) das von dem Spiegel (2) reflektierte Licht aufnimmt
und durch die zentrale Öffnung (2.2) lenkt.

4. Abbildungssystem nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass das reflektierende optische Element (3) ebenfalls radialsymmetrisch
ausgebildet ist und eine zentrale Öffnung (3.2) aufweist.

5. Abbildungssystem nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem reflektierenden optischen Element (3) zur Aufbereitung der Ab-
bildung im Strahlengang Linsenelemente (4, 5) nachgeordnet sind.

6. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anordnung (1) so ausgebildet ist, dass sie eine interferometrisch
auswertbare Abbildung erzeugt.

7. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anordnung (1) einen flächenhaften Bildaufnehmer (6) aufweist,
auf den die Abbildung erfolgt.

8. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anordnung (1) als Objektarm eiens interferometrisch arbeitenden
Messsystems ausgestaltet ist.

9. Abbildungssystem nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anordnung (1) in der Weise ausgebildet ist, dass sie ein Zwischenbild erzeugt.

10. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 4 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Spiegel (2) zur Aufnahme der von diesem reflektierten Strahlung ein transmissives optisches Element unmittelbar nachgeordnet ist.

19. Dez. 2003 - fle/poe

5

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10

15 **Zusammenfassung**

Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches Abbildungssystem mit einer Anordnung (1) von optischen Komponenten zum Erzeugen einer Abbildung einer zu mindest abschnittsweise radialsymmetrischen Licht abstrahlenden Oberfläche (20.1) eines Bauteils (20) für eine optische Oberflächenmessung desselben, wobei die Flächennormale des radialsymmetrischen Bereichs in Messlage des Bauteils unter einem Winkel von höchstens 90° gegenüber der Bauteilachse geneigt ist. Radialsymmetrische Außen-Oberflächenbereiche mit schräg zur Symmetriearchse gerichteten Flächennormalen können der Prüfung von Oberflächen-eigenschaften auf schnelle und einfache Weise dadurch zugänglich gemacht werden, dass die Anordnung (1) zum Vermessen von Außen-Oberflächen (20.1) ausgebildet ist und einen dem Bauteil (20) zuordenbaren Spiegel (2) aufweist, der im Messzu-stand den von dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich der Oberfläche abgestrahlten Strahlanteil erfasst und weiteren Abbildungskomponenten der Anordnung (1) zur Aufbereitung der Abbildung zuführt (Fig. 1).

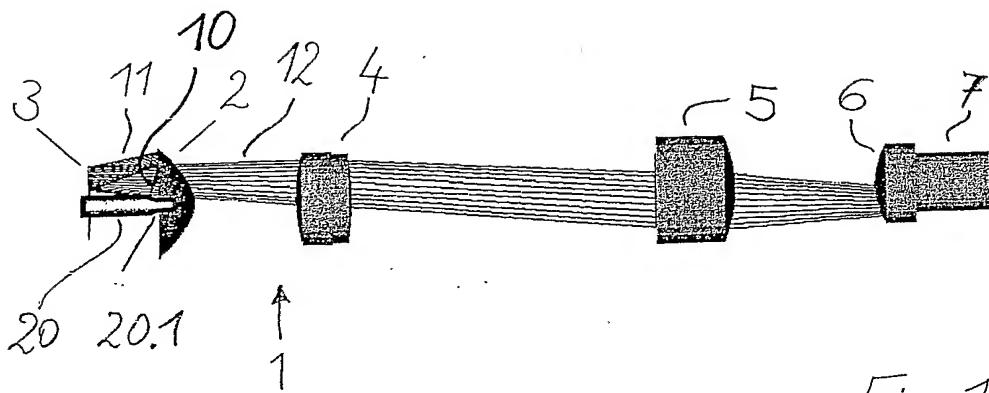


Fig. 1

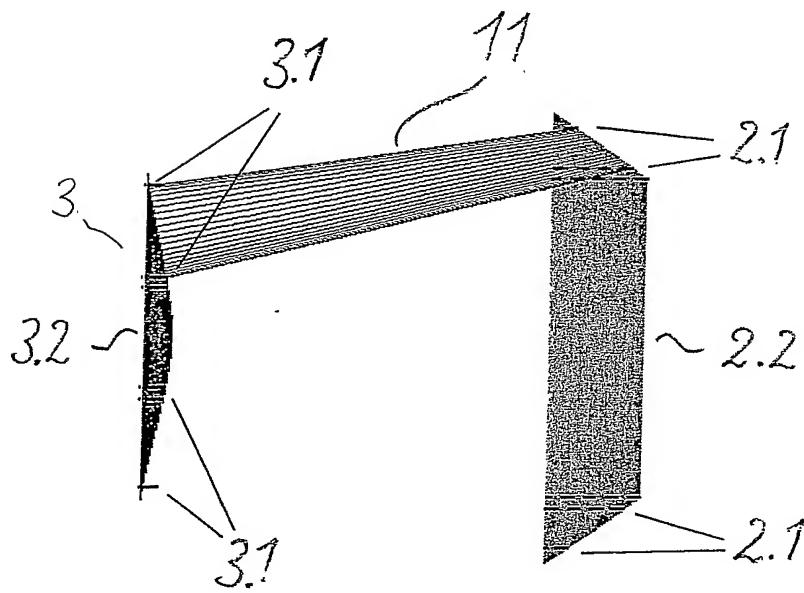


Fig. 2